

初代星形成における乱流磁場の影響

定成健児エリック

〈北海道大学 大学院理学研究院 理論宇宙物理学研究室 〒060-0810 北海道札幌市北区北10条西8丁目〉

e-mail: jfkenjeric@gmail.com



宇宙で最初に誕生した星「初代星」は、宇宙進化を左右する重要な天体である。最近の流体シミュレーションによると、初代星は円盤分裂を通じて、連星系または多重星系として形成されることが知られている。しかしながら、近年、初代星形成領域内に強い乱流磁場が生み出されることが理論的に示唆されており、磁場による初代星形成への影響が調べられている。我々は3次元磁気流体シミュレーションを用いて、乱流ダイナモによって増幅した乱流磁場が、円盤分裂を抑制することを明らかにした。また、乱流磁場環境であっても、原始星ジェットの駆動が可能であることも確認した。本稿では、どのようにして初代星形成領域で磁場が成長するか説明した後、乱流磁場が初代星の性質に与える影響について述べる。

1. はじめに

宇宙で最初に誕生した星「初代星」は、我々が住む宇宙の歴史を語るうえで欠かせない存在である。初代星は、宇宙が誕生してから約数億年後、水素とヘリウムを主成分とした始原ガス雲から形成された。初代星が放つ輻射は、周囲のガスを電離し、宇宙全体の電離化（宇宙再電離）を促進する。また、初代星の内部では、ビッグバン時には生成できなかった炭素や酸素のような重い元素が作り出される。やがて、初代星の超新星爆発によってこれらの重元素が宇宙空間にばら撒かれ、宇宙全体の金属汚染が進行していく。そして、汚染されたガス雲から第2世代の星が誕生し、以降、星の誕生と死を繰り返しながら、現在の宇宙へとつながっていく。このように初代星誕生を契機に宇宙は劇的に変化し、その後の天体形成に影響する。

初代星が宇宙に与える影響は、形成される星の質量とその数によって決まる。例えば、初代星の

質量が異なると、電離輻射の強さ、星内部で合成される元素の種類、そして最期に起こる超新星爆発の威力に違いが生じる。しかし、遠方にある初代星を直接観測し、その質量分布などの情報を得ることは極めて困難である。そのため、初代星研究は主に数値計算に基づいた理論的アプローチによって進められてきた [1-4]。

2. 初代星形成過程とその性質

この章では、まず、磁場の効果を考慮していない場合の標準的な初代星形成シナリオと数値シミュレーションから明らかになってきた初代星の特徴について簡単に紹介する。

2.1 初代星形成シナリオ

初代星の形成は、重力作用によって形成された 10^5 – $10^6 M_{\odot}$ 程度のダークマターの塊、「ミニハロー」と呼ばれる領域から始まる（図 1a）。ミニハローには、重力によって引き寄せられた始原ガスが降着し、ガス雲として蓄積する [1]。ガス雲は主に水素分子冷却によって冷えることで、その

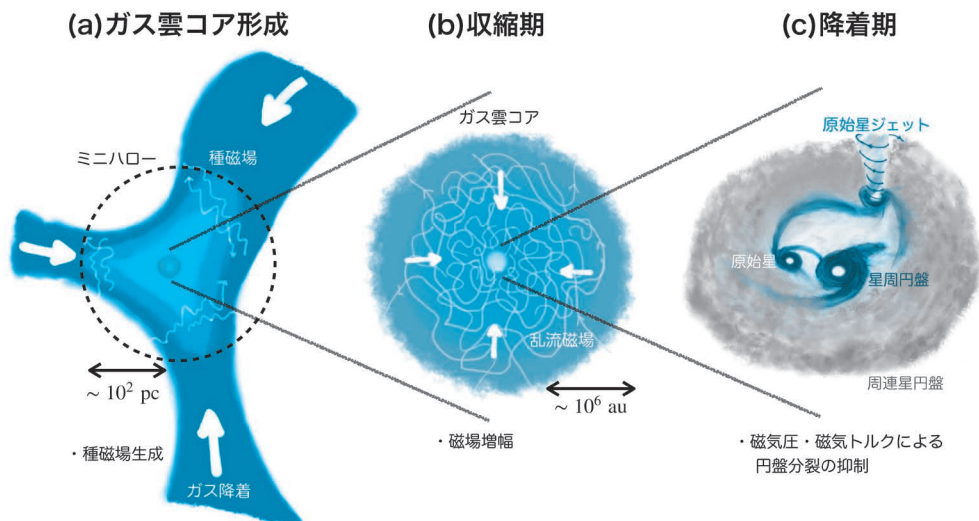


図1 磁場を考慮した初代星形成過程の模式図

中心部に特に密度が濃い「ガス雲コア」と呼ばれる領域が現れる。このガス雲コアが、圧力で支えきれないほどの質量を獲得すると、自己重力による暴走的収縮を始める。この時の臨界質量は、ジーンズ質量 M_J として見積もられ、典型的には、 $1000 M_\odot$ 程度の質量を持つ。

ガス雲コアが暴走的な収縮を始めると、自由落下時間 ($t_{\text{ff}} = \sqrt{3\pi/(32G\rho)}$) のスケールで密度 ρ が上昇する。 t_{ff} は密度の1/2乗に反比例するため、密度の高いガス雲コア中心部分が、周辺ガスを置き去りにしながら収縮する。その結果、ガス雲コアは密度一定のコアと、それを取り囲むエンベロープと呼ばれる領域に分かれる。収縮が進むにつれ、密度の上昇に伴って冷却率が低下し、コアが完全に断熱的になると収縮が止まる。この時、ガス雲コアの中心部に、「原始星」と呼ばれる断熱コアが形成する。形成直後の原始星の質量は $10^{-2} M_\odot$ 程度と非常に小さく、ガスの大部分はエンベロープに取り残されている [2]。一般に、重力収縮が始まって原始星ができるまでの時期を「収縮期」と呼ぶ (図1b)。

原始星は、周囲のガスが降着することで質量を増していく。この時、 M_J 程度のエンベロープが

スが t_{ff} の時間スケールで降着すると考えられるので、降着率は $\dot{M} \sim M_J/t_{\text{ff}}$ と見積もられる。ここで、降着率はエンベロープの温度 T と $\dot{M} \propto T^{3/2}$ という関係にある。始原ガスには効率的な冷却剤となるダストや重元素が存在しないため、エンベロープの温度は数百K程度に達し、現在の星形成環境よりも高温となる。その結果、初代星形成では $10^{-3} M_\odot/\text{yr}$ 程度の高い降着率が実現される。ガス降着は、原始星からの電離放射フィードバックによって周囲のガスが吹き飛ばされ、さらに、加熱による円盤の消失 (光蒸発) によって完全に止まる [3]。原始星が降着によって成長する時期のことを一般に「降着期」と呼ぶ (図1c)。

2.2 初代星の特徴

すでに述べたように、初代星形成環境では降着率が高く、原始星は大量のガスを獲得できる。最終的な初代星の質量は主に電離放射フィードバックによって降着が止まることで決まるが、降着率が高いと、この効果が弱まる。実際、輻射流体シミュレーションによると、初代星の典型的な質量は数十から数百 $M_\odot$ の大質量星になることが示唆されている [3, 4]。

加えて、降着率が高いと、円盤が重力不安定に

陥りやすくなり、分裂を起こす。初代星形成の流体シミュレーションでは、多くの場合、円盤分裂によって連星が誕生することが示されている [5–10]。また、円盤分裂は時間とともに繰り返して発生し、その結果、原始星の数が増加して、多重星系を形成することが示唆されている [11]。

多重星系では、大質量星だけでなく、軽い質量の初代星も形成される。一部の軽い原始星は他の原始星との多体重力相互作用によって円盤外へ弾き飛ばされることが報告されている [12]。これらの原始星は質量の成長が制限されるため、低質量の初代星になると期待される。特に、質量が $0.8 M_{\odot}$ 以下の初代星は現在の宇宙まで生き残ることが可能である。現在、そのような星の探索が活発に行われているが、まだ発見には至っていない [13]。

このように、数値シミュレーションから初代星の特徴が明らかになりつつあるが、多くの場合、磁場の効果は考慮されていない。これは、初期宇宙の磁場が極めて微弱であり、星形成に影響を与えないと考えられていたためである。しかし近年、初代星形成領域でも強い磁場が存在する可能性が理論的に指摘され始めており [14]、磁場の重要性が見直されつつある。

次に、初代星形成領域における磁場進化シナリオについて紹介する。

3. 初期宇宙における磁場の生成と増幅

磁場は、地球や太陽、恒星、銀河、さらには物質が希薄なボイド領域に至るまで、宇宙全体に普遍的に存在する。特に、現在の星形成領域のガス雲コアでは、重力エネルギーに匹敵するほど強い数十 μG 以上の磁場が観測されており [15]、星形成過程において重要な役割を果たす。宇宙磁場生成の標準シナリオでは、まず微弱な「種磁場」が生成され、その後、銀河回転や乱流ダイナモなどの増幅プロセスを経て現在観測される磁場強度に

達すると考えられている。

3.1 種磁場の生成

種磁場の生成メカニズムは、大きく分けて宇宙論起源と天体活動起源の2つある。宇宙論起源では、インフレーション期や宇宙の晴れ上がり時に生成される [16–18]。これにより、宇宙全体を微弱な一様磁場で満たすことができる。一方、天体活動起源では、超新星爆発 [19] や銀河形成時の衝撃波 [20]、電離放射 [21]、宇宙線 [22] などが種磁場を生成する。

初代星形成領域においても、ガスがミニハローに降着する際に発生する衝撃波や乱流が「ビアマン機構」を引き起こし、種磁場が自然に生成されることが考えられている (図 1a)。ビアマン機構とは、プラズマ中で圧力と密度の勾配が非平行になることで電流が生じ、磁場が生成される現象である [23]。このメカニズムによって、理論的には 10^{-20} – 10^{-18} G 程度の種磁場が生成されることが示唆されている [24]。しかし、この磁場強度のままでは星形成に影響を与えるにはあまりにも弱すぎるため、次に説明するような磁場増幅が重要となる。

3.2 磁場の増幅

初代星形成領域で最も重要な磁場増幅プロセスは、収縮期における乱流ダイナモである [25]。宇宙論シミュレーションによると、ミニハロー内のガス雲では、遷音速程度の乱流が自然に発生する [26]。この時、乱流によって磁力線が引き伸ばされ、捻じ曲げられることで、磁場は指数関数的に増幅される (乱流ダイナモ)。スケール l における乱流速度を V_{turb} とすると、乱流ダイナモによる増幅のタイムスケールは、 $t_{\text{eddy}} \sim l/V_{\text{turb}}$ (l) と表される。このタイムスケールは通常、スケールが小さいほど、短いため、磁場は小スケール側から順に増幅される。また、 t_{eddy} は、自由落下時間 t_{ff} よりも十分短いため、ガス雲が重力収縮する間に、磁場はすぐに乱流エネルギーと同程度まで増幅される。その後、重力によるガスの圧縮で更

に強まることで、重力エネルギーに匹敵する強い磁場が生成される。

現在の星形成領域では、原始星形成まで収縮する間にガスと磁力線の動きが切り離される現象「磁気散逸」が生じる。これにより、乱流ダイナモや重力圧縮による磁場増幅が妨げられる。一方で、ダストを含まない始原ガス雲では、磁気散逸による効果が弱いことが知られている [27]。そのため、初代星形成環境下では、効率的に増幅することが可能となる。その結果、原始星周りの磁場強度は現在の星形成の場合よりも強くなり、その後の原始星進化に大きく影響する可能性がある [28]。

3.3 初代星形成領域における乱流磁場

磁場が星形成に与える影響は、その強度と構造によって決まる。磁場強度は、すでに説明したように、乱流ダイナモによって現在の星形成領域と同程度まで増幅できる。一方で、磁場構造は、現在の星形成領域で観測されているような一様なものではなく、乱流によってランダムにかき乱された複雑な構造をしている (図1b)。

この磁場構造の違いは、星形成過程に重要な影響を及ぼす。例えば、回転するガス雲に揃った磁場が突き刺さっていると、磁気張力が回転運動を減速させる方向に力を加え、角運動量を輸送する (磁気制動) [29]。この輸送効率は、回転軸と磁力線の向きによって大きく異なり、星周円盤の大きさに影響する [30–32]。しかし、乱流ダイナモによって生じた磁場構造が円盤構造にどのような影響を与えるかは、まだ十分に理解されていない。

また、磁場によって駆動されるアウトフローも磁場構造に大きく左右される。現在の星形成についてのシミュレーションでは、磁場構造が乱れるほどアウトフローによる質量放出が低下することが示されている [33]。そのため、乱流磁場が卓越している初代星形成においてアウトフローが発生するかは、依然として未解明であった。

次章では、これらの疑問に答えるために実施したシミュレーション結果について紹介する。

4. 初代星形成磁気流体シミュレーション

我々は、ガス雲コアが重力収縮する「収縮期」から、円盤分裂によって多重星系が形成される「降着期」までの一連の過程について、3次元磁気流体シミュレーションを実施した。初期条件として、異なる強度の一樣磁場 ($B_{\text{ini}} = 0, 10^{-8}, 10^{-7}, 5 \times 10^{-7} \text{ G}$) を設定し、さらに乱流速度場を加えた。このような設定により、一樣磁場は収縮期において乱流ダイナモによって増幅され、降着期に至るまでに乱流磁場構造が形成される。特に、 $B_{\text{ini}} \geq 10^{-7} \text{ G}$ の場合では、乱流磁場は重力エネルギーに匹敵するほどの強度に達し、理論的に期待されている初代星形成の環境に近い状況が再現される (3.2節)。本研究では、乱流磁場強度の違いが降着期における円盤分裂に与える影響を調べた。

4.1 円盤分裂による多重星形成

まず、連星が形成するまでの進化について見ていく。一例として、図2に、磁場を含まない場合の3次元の密度構造の進化を示す。ガス雲コアの重力収縮によって、最初に中心に1つの原始星が形成される (図2a)。その後、エンベロープガスが角運動量と共に降着することで、自然に原始星の周囲に回転円盤が形成される (図2b)。円盤は時間と共に質量を獲得していき、次第に重力不安定な状態となる。この時、円盤には、図2(c) のような2本の渦状腕が出現する。非軸対称構造を持つ渦状腕は、重力トルクを生み出し、円盤面に沿った方向に角運動量を輸送し始める。その結果、円盤内の降着が促進され、円盤面密度が低下し、重力不安定性を解消する方向に向かう。しかし、初代星形成のように降着率が高い環境下では、円盤の質量が安定化するよりも早く増加し、不安定性がさらに強まる。その結果、渦状腕内部

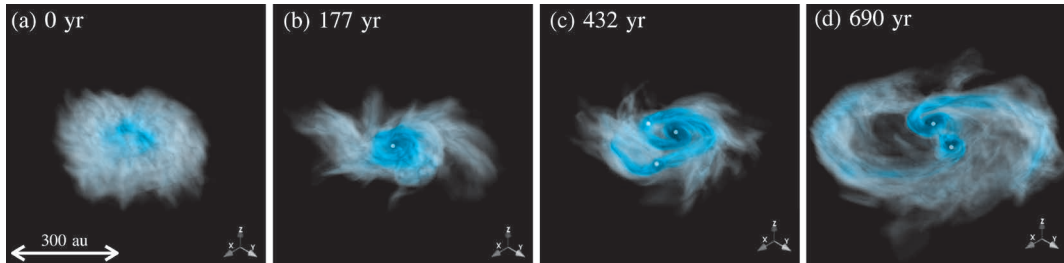


図2 磁場がない場合における (a) 最初の原始星ができてから, (b) 円盤が形成し, (c) 円盤内に現れた渦状腕が分裂することで, (d) 連星系が形成されるまでの3次元密度構造. 白丸は原始星の位置を表す.

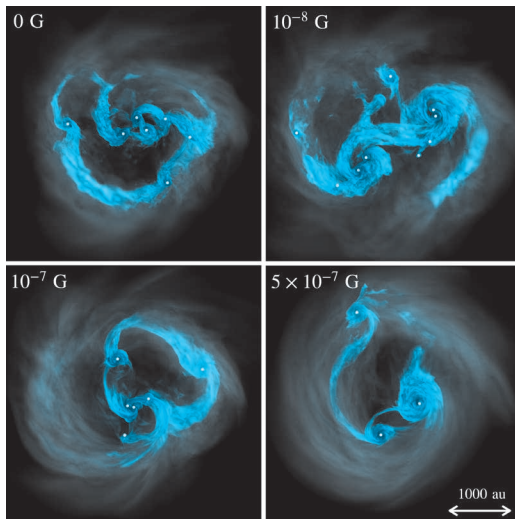


図3 最初の原始星が形成してから3500年後の密度構造. 各パネルは異なる初期磁場強度 (左上に記載) を設定したシミュレーション結果を示している. 白丸は原始星の位置を表す.

で分裂が生じ, 新たな原始星が複数形成される (図2cの白丸). その後, 合体を免れた原始星が図2(d) のような連星系を組む.

円盤分裂は円盤の質量増加とともに, 繰り返し発生し, 原始星の数は増加する. 図3に, 最初の原始星が形成してから3500年経過した時の密度構造と原始星の位置 (白丸) を示した. どの初期磁場強度の場合でも, 多重星系が形成しているのがわかる. これは乱流磁場では, 完全に円盤分裂を止められないことを示している.

一方で, 円盤分裂の頻度には違いがみられた. 図4に, 累積の分裂回数の時間進化を示した. 円

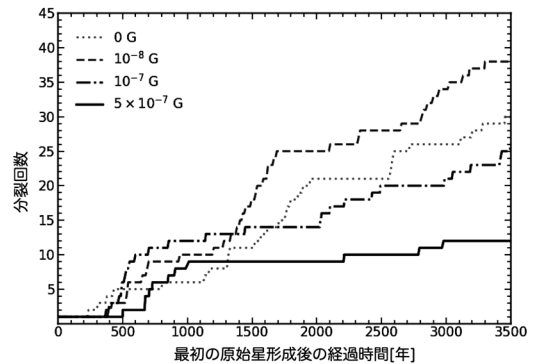


図4 最初の原始星が形成してから分裂回数の時間進化. 異なる初期磁場強度の場合の結果を異なる線種で示している.

盤内の磁場 (初期磁場) が大きいほど, 分裂回数が減少しているのがわかる. これは次に詳しく述べる磁気効果の結果である. 本稿では, 特に磁気圧, 磁気トルク, そして磁気駆動型アウトフローの効果について紹介する.

4.2 磁気圧による円盤の安定化

磁気圧 ($p_{\text{mag}} = B^2/(8\pi)$) は, 熱圧 p_{th} 同様, 重力に対抗する力を持ち, 円盤を安定化することができる. 磁気圧の効果を調べるために, 熱圧と磁気圧の比をとったプラズマベータ $\beta_p = p_{\text{th}}/p_{\text{mag}}$ という量を用いる. β_p が1に近いほど, 磁気圧による貢献度が高いことを意味する.

図5は, 3000年経過した時のプラズマベータの空間分布を表す. 初期磁場強度が強いほど, 円盤領域内の磁場は強く, プラズマベータ値は小さい. 磁場の大きさが最も強い場合では, 円盤領域

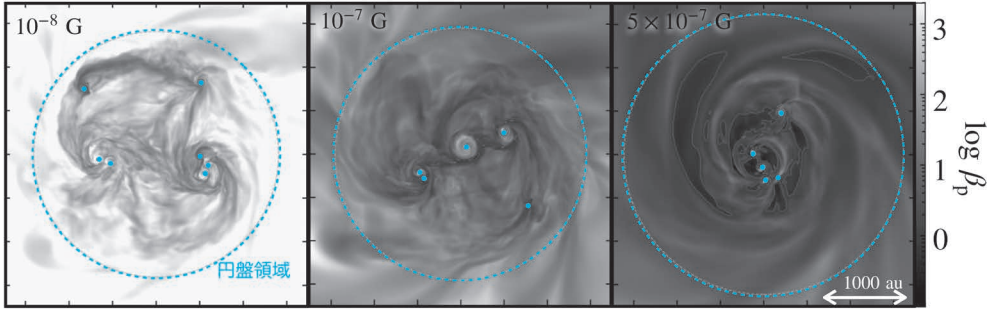


図5 降着期が始まってから3000年経過した時のプラズマベータ $\beta_p = p_{th}/p_{mag}$ の空間構造. 各パネルは異なる初期磁場強度（左上に記載）を設定したシミュレーション結果を示している. 青丸と青点線は、原始星の位置と円盤領域の大きさを表す.

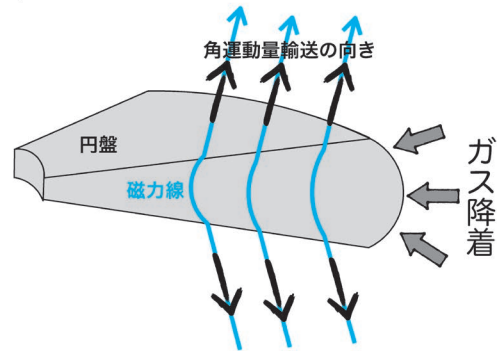
の大部分が、 $\beta_p \sim 1$ となり、磁気圧が円盤の安定化に寄与しているのがわかる．磁場強度が弱い場合でも、星周円盤内では、回転による磁場増幅により $\beta_p \sim 1$ が実現されている．その結果、星周円盤の分裂が抑制される．

4.3 磁気トルクによる角運動量輸送

次に、磁気トルクによる角運動量輸送の効果について見ていく．一般に、磁気張力が回転運動を妨げる向きにトルクとして働き、角運動量を輸送する．円盤に対して垂直に一樣磁場が突き刺さっている場合（図6a）、角運動量は磁力線に沿って円盤上空へ輸送される．この時、角運動量は円盤外へ持ち出されるため、結果として円盤の半径が縮小し、円盤分裂が抑制される．

一方で、乱流磁場の場合（図6b）、角運動量は円盤面に沿った方向へ輸送されることがシミュレーション結果の解析から明らかになった．これは、乱流磁場による磁気トルクが円盤内の実効的粘性を高める効果を持つことを意味する．その結果、角運動量は外側のガスに受け渡されるだけであり、円盤サイズを縮小することはできない．実際に、図5では、円盤領域の大きさに差がないことが確認できる．しかし、円盤領域全体の磁場強度が $\beta_p \sim 1$ 程度に高い場合（ $B_{init} = 5 \times 10^{-7}$ G）では、磁気トルクによる角運動量輸送が円盤領域の安定化を促し、渦状腕の拡大が抑えられる（図3）．その結果、円盤分裂が抑制される．

(a) 一樣磁場



(b) 乱流磁場

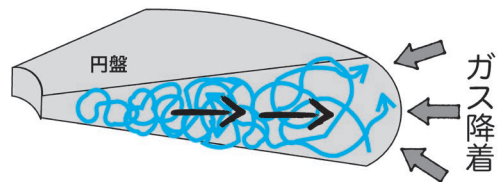


図6 (a) 一樣な垂直磁場が円盤を貫いている場合と (b) 乱流磁場が円盤内に存在している場合の磁気トルクによる角運動量輸送の向き（黒矢印）を示した模式図.

4.4 原始星ジェットの駆動

星形成領域に磁場が存在すると、アウトフローが発生し、ガスが角運動量とともに放出されることで星形成に影響を与える．アウトフローの駆動メカニズムには、磁気力と遠心力によって駆動する「磁気遠心力風」[34] と磁気圧勾配力によ

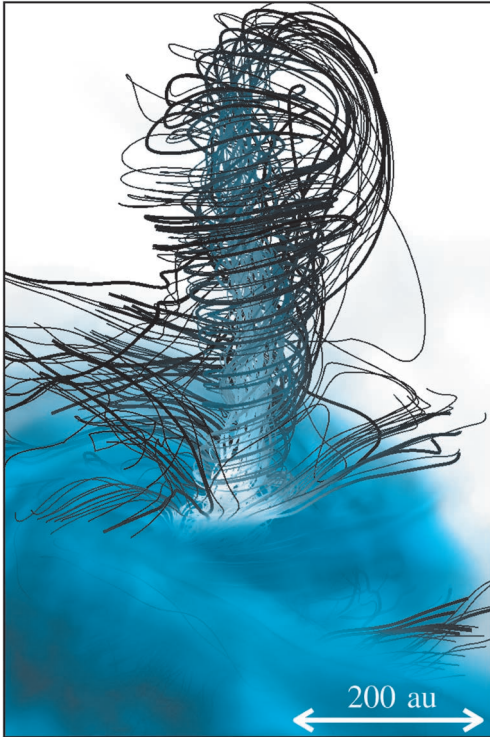


図7 $B_{\text{init}} = 10^{-7}$ Gの場合における原始星ジェット
の3次元密度構造。線は磁力線を表し、線の色
が黒から白に変化するにつれて磁場強度が増
加することを表す。トロイダル磁場が卓越し
た領域が原始星ジェットに対応する。

て駆動する「磁気圧勾配風」[35]の2種類がある。

磁気遠心力風が駆動されるには、強い一様磁場
が円盤や原始星のような回転体に突き刺さった初
期状態が必要である。一方、磁気圧勾配風は、初
期の磁場構造に関係なく、回転によって磁力線が
巻かれ、強いトロイダル磁場が生成されることで
駆動される。しかしながら、乱流ダイナモによっ
て生成された乱流磁場の環境でも磁気圧勾配風が
駆動されるかどうかは、これまで明らかではな
かった。

我々は、収縮期から計算した星形成シミュレ
ーションにおいて、初めて、乱流磁場環境下でも原
始星を根本に噴出する原始星ジェットが磁気圧勾
配風によって駆動することを示した。図7は、中
程度の初期磁場強度を持つ場合 ($B_{\text{init}} = 10^{-7}$ G)

の原始星ジェットと、それに伴う磁力線の3次元
構造を示している。図からわかるように、星周円
盤と原始星の回転によって磁力線が巻かれ、トロ
イダル磁場がタワー状に構築されている。このタ
ワー構造内では磁気圧勾配力が重力を上回るほど
強まり、ガスが外向きに吹き飛ばされる。乱流磁
場が卓越した状況下では、原始星ジェットは片側
からのみ吹き出し、細く絞られた構造を持つ。

ただし、これらの原始星ジェットの持続時間は
短い。これは、降着率が高い状況下では、磁気圧
が降着流の動圧に押し負けるためである。その結
果、原始星ジェットによる角運動量や質量輸送の
効果は限定的であり、星形成への影響は小さい。
しかしながら、降着期の後半に輻射フィードバッ
クが周辺ガスを吹き飛ばすことで、原始星ジェッ
トが駆動されやすくなるかもしれない。このた
め、条件次第では原始星ジェットが初代星形成に
一定の影響を与える可能性がある。

5. まとめと今後の展望

我々は、初代星形成領域におけるダイナモ増幅
によって生成された乱流磁場が、初代星形成に与
える影響を、3次元磁気流体シミュレーションを
用いて調べた。

その結果、乱流磁場によって円盤分裂を完全に
止めることはできないが、磁気圧と磁気トルクに
よる円盤の安定化の効果により、円盤分裂の頻度
が低下することが明らかになった。この効果に
よって、多体重力相互作用によって弾き飛ばされ
る原始星の数が減少し、最終的に現在の宇宙まで
生存可能な低質量初代星の形成が抑制される可
能性が示唆された。現在の宇宙で初代星がまだ発見
されない理由の一つかもしれない。

初代星の初期質量関数に磁場がどのように影響
を与えるかをより定量的に理解するためには、初
期の磁場構造や強度を特定する必要がある。その
ためには、ミニハロー形成時から種磁場の生成、
そして磁場の増幅に至るまでの計算が求められ

る。さらに、初代星の質量を決定づけるためには、輻射フィードバックによって降着が停止する時期まで計算を進める必要がある。その際、原始星ジェットと電離フィードバックの両方がどのように作用し、初代星の質量に影響するかを解明することが重要となる。また、重力波合体を引き起こすような近接連星がどのように形成されるかも、大きな課題である。

このように、初代星形成に関する理論的な課題は多く残されており、どれも磁場が重要な役割を果たす可能性がある。したがって、今後、磁場の効果を考慮した初代星形成の理論研究が引き続き求められると考える。

謝 辞

本稿の科学的内容は、2024年に筆者らが発表した査読付き学術論文に基づいています [36]。本研究は筆者が博士課程在学中に行いました。博士課程在学時の指導教員の大向一行氏には、深く感謝申し上げます。また、共同研究者である杉村和幸氏、松本倫明氏、富田賢吾氏には、研究の遂行にあたり多くの助言をいただき、心よりお礼申し上げます。さらに、本稿を執筆する機会を与えていただいた岩崎一成氏にも感謝いたします。なお、本研究では、国立天文台天文シミュレーションプロジェクト (CfCA) のXC50を利用させていただきました。

参 考 文 献

- [1] 吉田直紀, 2006, 天文月報, 99, 452
- [2] 大向一行, 2006, 天文月報, 99, 462
- [3] 細川隆史, 2013, 天文月報, 106, 772
- [4] 平野信吾, 2015, 天文月報, 108, 337
- [5] Stacy, A., et al., 2010, MNRAS, 403, 45
- [6] Smith, R. J., et al., 2011, MNRAS, 414, 3633
- [7] Stacy, A., & Bromm, V., 2013, MNRAS, 433, 1094
- [8] Chon, S., & Hosokawa, T., 2019, MNRAS, 488, 2658
- [9] Kimura, K., et al., 2021, ApJ, 911, 52
- [10] Park, J., et al., 2021, MNRAS, 508, 6176
- [11] Susa, H., 2019, ApJ, 877, 99
- [12] Clark, P. C., et al., 2008, ApJ, 672, 757
- [13] Ishiyama, T., et al., 2016, ApJ, 826, 9
- [14] McKee, C. F., et al., 2020, MNRAS, 496, 5528
- [15] Crutcher, R. M., 2012, ARA&A, 50, 29
- [16] Turner, M. S., & Widrow, L. M., 1988, Phys. Rev. D, 37, 2743
- [17] Saga, S., et al., 2015, Phys. Rev. D, 91, 123510
- [18] Subramanian, K., 2016, Rep. Prog. Phys., 79, 076901
- [19] Hanayama, H., et al., 2005, ApJ, 633, 941
- [20] Kulsrud, R. M., et al., 1997, ApJ, 480, 481
- [21] Doi, K., & Susa, H., 2011, ApJ, 741, 93
- [22] Ohira, Y., 2020, ApJ, 896, L12
- [23] Biermann, L., 1950, Zeitschrift Natur-forschung Teil A, 5, 65
- [24] Xu, H., et al., 2008, ApJ, 688, L57
- [25] Xu, S., & Lazarian, A., 2016, ApJ, 833, 215
- [26] Greif, T. H., et al., 2012, MNRAS, 424, 399
- [27] Maki, H., & Susa, H., 2004, ApJ, 609, 467
- [28] Sadanari, K. E., et al., 2023, MNRAS, 519, 3076
- [29] Gillis, J., et al., 1974, Ap&SS, 27, 167
- [30] Matsumoto, T., & Tomisaka, K., 2004, ApJ, 616, 266
- [31] Hennebelle, P., & Ciardi, A., 2009, A&A, 506, L29
- [32] Tsukamoto, Y., et al., 2018, ApJ, 868, 22
- [33] Gerrard, I. A., et al., 2019, MNRAS, 485, 5532
- [34] Blandford, R. D., & Payne, D. G., 1982, MNRAS, 199, 883
- [35] Tomisaka, K., 2002, ApJ, 575, 306
- [36] Sadanari, K. E., et al., 2024, PASJ, 76, 823

Impact of Turbulent Magnetic Fields on First Star Formation

Kenji Eric SADANARI

Faculty of Science, Hokkaido University, Kita 10,
Nishi 8, Kita, Sapporo, Hokkaido 060-0810,
Japan

Abstract: Previous numerical simulations that did not consider magnetic fields have shown that the first stars form as multiple star systems with a wide range of masses, through disk fragmentation. However, recent theoretical studies suggest that strong turbulent magnetic fields are generated by turbulent dynamo processes. To investigate the effects of turbulent magnetic fields, we perform three-dimensional magnetohydrodynamic simulations, starting from the gravitational collapse of a gas cloud core and continuing through the formation of multiple systems. We find that although turbulent magnetic fields cannot completely prevent fragmentation, they can stabilize the disk through magnetic pressure and angular momentum transport, thereby reducing the frequency of disk fragmentation. This result suggests the possibility of suppression in the formation of low-mass first stars.